INFLUÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE MISTURA DOS ADITIVOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

Tema: Tecnologia dos materiais
Grupo: 2

JULIANA P. ANTONIAZZI[1], LUCIANO V. VAZ[2], GIHAD MOHAMAD[3], RAQUEL P. B. SCHMIDT[4], LUÍS EDUARDO MODLER[5]

[1]Prof[a] Ms, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Santa Maria/UFSM, juliana.antoniazzi@ufsm.br
[2]Engenheiro Civil, lucianovvaz@hotmail.com
[3]Prof Dr, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Santa Maria/UFSM, gihad.civil@gmail.com
[4]Prof[a] Ms, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Santa Maria/UFSM, raquelbrondani@gmail.com
[5]Prof Dr, Universidade Federal da Fronteira Sul/UFFS – Campus Erechim/RS, luismodler@gmail.com

RESUMO

A argamassa estabilizada é uma mistura pronta, trabalhável por até 72 horas, que utiliza aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar. Este trabalho avaliou as propriedades dessas argamassas, em duas combinações dos aditivos, mediante quatro diferentes sequências de aplicação. Foram analisadas, em 0 h e 24 h, consistência, densidade de massa e ar incorporado. Aos 28 dias, foram ensaiadas capilaridade, densidade de massa e resistência mecânica. A sequência de mistura e o teor dos aditivos influenciaram nas propriedades das argamassas, mais significativamente na capilaridade e resistência. Os maiores teores de aditivos proporcionaram maior estabilidade das propriedades em 24 h.

Palavras-chave: argamassa estabilizada, procedimento de mistura, aditivo.

INFLUENCE OF THE ADMIXTURE MIXING PROCEDURE ON THE READY MIX MORTAR PROPERTIES

ABSTRACT

The ready mix mortar is a mixture which remain workable for up to 72 hours and is composed by hydration stabilizing and air-entrained admixture. This work evaluated the mortars properties for two admixtures combinations, using four different mixing procedure. Consistency, specific gravity and air entrained content were obtained for 0 and 24 hours. Capillarity, specific gravity and mechanical strength were tested at 28 days. The results showed that the mixing procedure and the admixtures content influence the mortars properties, more significantly in the capillarity and compressive strength. The higher admixtures content provided greater stability of fresh properties until 24 h.

Key-words: ready mix mortar, mixing procedure, admixtures.

1. INTRODUÇÃO

A argamassa estabilizada é produzida em central especializada e é comercializada já pronta para o uso, podendo preservar suas propriedades frescas por até 72 horas devido ao emprego de aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH).

O emprego de argamassa estabilizada tem aumentado gradativamente em busca de maior produtividade e qualidade na indústria de construção civil, além de vantagens econômicas e ambientais. Porém, as propriedades no estado endurecido dessas argamassas freqüentemente apresentam grande variação de resultados, de acordo com o lote estudado.

Desta forma, o emprego dos aditivos necessita estudos mais aprofundados em termos de dosagem e aplicação, uma vez que, ainda não existem normativas nacionais específicas, exceto orientações disponibilizadas pelos fabricantes. Nesse contexto, é importante a análise do momento mais apropriado para a aplicação dos aditivos às misturas, uma vez que que, são eles os principais modificadores das propriedades das argamassas.

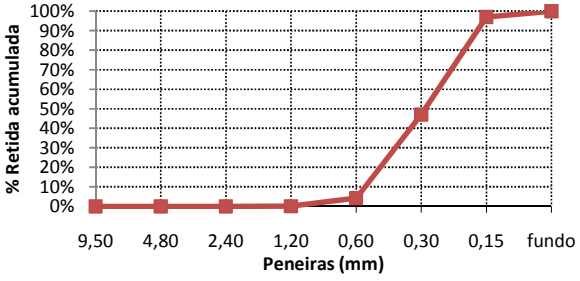
Esse estudo avaliou as propriedades das argamassas estabilizadas produzidas em laboratório com diferentes seqüências de mistura e teores dos aditivos (AEH e AIA).

2. MATERIAIS

Os materiais empregados nessa pesquisa foram escolhidos de acordo com o que vem sendo mais utilizado pelas empresas fabricantes de argamassa estabilizada na região sul do Brasil. Foi utilizado o CP II-F 40, com massa específica de 3,09 g/cm^3, finura de 0,38% (#0,075mm), água de consistência de 29% e tempo de início de pega de 5h33min (Agulha de Vicat).

O agregado miúdo utilizado nas misturas foi areia proveniente de cava da localidade de Viamão/RS, com dimensão máxima característica de 0,60mm e módulo de finura de 1,48, 2,13% de material pulverulento, massa específica de 2,67 g/cm³ e massa unitária de 1,63 g/cm³. A curva granulométrica(1) do agregado encontra-se na Figura 1.

Figura 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor.

Foram utilizados um AIA e um AEH, conforme características técnicas contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados técnicos dos aditivos.

Característica	Aditivo Incorporador de Ar (AIA)	Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH)
Substância	Lauril éter sulfato de sódio(C-10/ C-16) – 50-70%	-
Densidade	0,98–1,20(g/cm^3)	1,15–1,19(g/cm^3)
Dosagem	0,1–0,5(% da massa do cimento)	0,2–1,5(% da massa do cimento)
Cor	Amarelo	Marrom claro
PH	7,00–9,00	5,00–7,00
Solubilidade	Solúvel em água	Solúvel em água

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram estudadas duas misturas de argamassa com mesmo traço (1:6,5), em massa, mesma relação água/aglomerante (A/a=1,0), porém variando os teores de aditivos. Cada argamassa foi submetida a quatro diferentes sequências de mistura, aqui denominadas A, B, C e D, totalizando, assim, oito misturas distintas, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Misturas e sequências estudadas.

Mistura	Traço	Relação água/aglom.	Teor de aditivos		Sequência de mistura	Denominação
			AIA	AEH		
M1	1:6,5	1,00	0,30%	0,85%	A	1A
					B	1B
					C	1C
					D	1D
M2	1:6,5	1,00	0,50%	1,50%	A	2A
					B	2B
					C	2C
					D	2D

As sequências de mistura adotadas foram:

- Sequência A: os aditivos (AEH e AIA) são misturados no início do processo de mistura, juntamente com a água;
- Sequência B: os aditivos (AEH e AIA) são misturados no período final do processo de mistura, durante a pausa para raspagem da cuba;
- Sequência C: o AEH é misturado juntamente com a água, no início do processo de mistura, e o AIA é adicionado durante a pausa de raspagem da cuba;
- Sequência D: o AIA é misturado juntamente com a água, no início do processo de mistura, e o AEH é adicionado durante a pausa de raspagem da cuba.

As argamassas foram produzidas em argamassadeira da marca EMIC, com capacidade de 5 litros, com movimento planetário. O procedimento de preparo foi adotado conforme a NBR 7215[(2)], adaptada para o uso de aditivos, devido ao fato do trabalho já estar em desenvolvimento quando do surgimento da NBR 16541[(3)]. O preparo das argamassas em laboratório seguiu a seguinte sequência: inicialmente foi colocada toda a água (e o(s)

aditivo(s), a depender da sequência de mistura) na cuba já úmida, misturando em velocidade baixa por 20s. Após, com o equipamento desligado, foi adicionado o cimento, misturando-se por 30s em velocidade baixa. Sem desligar a argamassadeira, a areia foi colocada de forma gradual ao longo de 30s, misturando-se por mais 30s em velocidade alta. Desligou-se o equipamento por 90s para a raspagem da lateral da cuba e pá (momento de aplicação do(s) aditivo(s), a depender da sequência de mistura). Por fim, em velocidade alta, misturou-se a massa por mais 60s. Os corpos de prova foram moldados logo após a mistura e foram curados em ambiente de laboratório (T=23±2ºC e UR=60±5%).

Foram analisados no estado fresco o índice de consistência[4], a densidade de massa e o teor de ar incorporado[5] da argamassa em 0h e 24h, a fim de avaliar seu comportamento em diferentes períodos de estabilização. Para as análises em 24h, as argamassas foram armazenadas em recipientes plásticos fechados, sem película de água, sendo homogeneizadas manualmente com auxilio de uma espátula por 20s antes dos ensaios. Também foram moldados corpos de provas de 4x4x16 cm para avaliação das propriedades da argamassa no estado endurecido, sendo realizados os ensaios de coeficiente de capilaridade[6], resistência à tração e compressão[7] e a densidade de massa[8] aos 28 dias.

As análises foram realizadas no programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0). Os dados foram comparados entre as diferentes misturas e sequências por meio dos testes T, T pareado e *ANOVA* com *post hoc* de *Tukey* ($p<0,05$).

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos para as 4 sequências de mistura estudadas nas argamassas no estado fresco estão resumidos na Tabela 3, para M1 e M2. São apresentados os resultados médios, seguidos do desvio padrão (M±DP), de densidade de massa aparente, teor de ar incorporado e índice de consistência, logo após o término da mistura (0h) e após 24h de estabilização.

Através dos dados da Tabela 3, observa-se que, estatisticamente, a sequência de mistura dos aditivos só não apresentou diferenças significativas ($p<0,05$), dentro da mesma mistura, para o índice de consistência da M2 em 0h ($p^*=0,427$). Nas demais propriedades a análise estatística detectou diferenças em pelo menos uma das sequências testadas. As maiores diferenças foram obtidas no teor de ar entre 2C e 2D, em 0h (12%) e 24h (10%), provavelmente devido à sequência “C” incorporar o AIA na fase final de mistura, com tempo muito pequeno para ação do aditivo, enquanto a sequência “D” adiciona AIA no início da mistura, com maior tempo de cisalhamento e, assim, incorporação de ar. Essa justificativa também se aplica à densidade de massa, a qual também variou de 2C para 2D, em 0h (-4%) e 24h (-4%), uma vez que, quanto maior a quantidade de ar incorporado, menor a densidade de massa da mistura. Esses efeitos foram mais significativos para M2, uma vez que, os teores de aditivos empregados eram bem maiores nestas misturas.

Tabela 3 – Comparação das propriedades no estado fresco entre as diferentes sequências, tempos de estabilização e misturas.

Mistura	Densidade de massa (g/cm³)			Teor de ar incorporado (%)			Índice de Consistência (mm)		
	0h	24h	P**	0h	24h	P**	0h	24h	P**
1A	1,60±0,005^{a}	1,68±0,007^{a}	<0,001	29,0±0,2^{b}	25,8±0,3^{b}	0,001	276,2±2,3^{c}	194,1±3,0^{b}	<0,001
1B	1,61±0,002^{a}	1,68±0,003^{a}	<0,001	28,9±0,1^{ab}	25,7±0,1^{b}	0,002	260,3±2,4^{a}	175,1±3,4^{a}	<0,001
1C	1,62±0,002^{b}	1,69±0,004^{ab}	<0,001	28,3±0,1^{a}	25,2±0,2^{ab}	<0,001	265,7±3,2^{b}	180,2±4,3^{a}	<0,001
1D	1,60±0,007^{a}	1,70±0,005^{b}	<0,001	29,3±0,3^{b}	24,9±0,2^{a}	0,003	272,4±3,4^{c}	193,5±2,6^{b}	0,001
Média	1,61±0,009	1,68±0,01	0,002	28,9±0,4	25,4±0,4	0,002	268,7±6,6	185,7±9,0	0,002
C.V.(%)	0,56	0,56	-	1,38	1,66	-	2,44	4,83	-
P*	0,003	0,004	-	0,004	0,004	-	<0,001	<0,001	-
2A	1,60±0,003^{a}	1,61±0,002^{a}	<0,001	29,2±0,1^{c}	28,7±0,1^{c}	0,069	274,5±1,9	220,5±3,2^{ab}	<0,001
2B	1,63±0,003^{b}	1,64±0,001^{b}	<0,001	27,6±0,1^{b}	27,4±0,01^{b}	0,242	270,4±6,2	214,7±2,8^{a}	0,002
2C	1,66±0,006^{c}	1,67±0,003^{c}	<0,001	26,3±0,3^{a}	26,0±0,1^{a}	0,188	275,5±9,8	230,0±4,3^{c}	0,012
2D	1,59±0,002^{a}	1,61±0,006^{a}	<0,001	29,5±0,1^{c}	28,7±0,3^{c}	0,045	277,4±4,1	224,4±3,2^{bc}	0,003
Média	1,62±0,031	1,63±0,027	0,003	28,1±1,4	27,7±1,2	0,003	274,5±5,0	222,4±6,2	0,002
C.V.(%)	1,89	1,65	-	4,83	4,30	-	1,84	2,79	-
P*	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	-	0,427	<0,001	-
P***	0,131	<0,001	-	0,102	<0,001	-	0,024	<0,001	-

P* Teste ANOVA e post hoc de Tukey: comparação entre as diferentes sequências na mesma mistura (a-b, b-c ou a-c: com diferenças estatisticamente significantes; a-a, b-b ou c-c: sem diferenças estatisticamente significantes); **P**** Teste T pareado: comparação entre os tempos 0 h e 24 h em cada sequência; **P***** Teste T: Comparação entre M1 e M2.

O índice de consistência mostrou-se mais divergente entre 1A e 1B, em 0h (-6%) e 24h (-10%) e entre 2B e 2C (7%), em 24h. As sequências "A" e "C" inserem o AEH no início da mistura, dispondo de maior tempo de agitação das moléculas, aumentando provavelmente o efeito dispersante proporcionado pelo AEH, resultando em um maior espalhamento da argamassa e melhor conservação das propriedades durante o período de estabilização.

Comparando os resultados obtidos entre as duas misturas, o aumento dos teores de aditivos de M1 para M2 não alterou de forma significativa (p***>0,05) a densidade e o teor de ar incorporado em 0h, não apresentando relação de proporção direta. Apenas para a consistência obteve-se significância (p***=0,024) em 0h, porém, numericamente, o aumento nos teores proporcionou no máximo 3,9% de ganho no índice de consistência, de 1B para 2B. Já para as 24h de estabilização os resultados demonstraram diferenças importantes, sendo mais expressivas no teor de ar incorporado, até 15% maior de 1D para 2D, e para o índice de consistência, sendo 2C 28% maior que 1C. Essas divergências são mais expressivas em 24h devido aos teores dos aditivos empregados em M2 serem bem maiores que em M1, especialmente o AEH, considerado um agente ativo de superfície que cria uma película hidrorepelente sobre as partículas de cimento, prorrogando as suas reações de hidratação e, assim, quanto maior o teor empregado, mais tempo serão mantidas as propriedades frescas da argamassa[(9)].

Analisando as propriedades entre 0 e 24h, somente a incorporação de ar para M2 se manteve sem alterações consideráveis (p**>0,05), apenas na mistura 2D houve pequena alteração, porém, muito próxima de não ser considerada (p**=0,045). Todas as demais misturas tiveram perda de propriedades estatisticamente significativas, podendo-se apontar

1C, 1D e 2D as que mais alteraram densidade e teor de ar, e 1C, 2A e 2B as mais afetadas quanto à consistência. Em termos numéricos gerais, constata-se que o comportamento de M2, em 24h de estabilização, se manteve mais estável do que M1 em todas as propriedades analisadas, o que já era esperado devido ao maior teor de AEH empregado.

Os resultados das propriedades no estado endurecido para os ensaios de capilaridade, densidade de massa aparente e resistência mecânica estão apresentados na Tabela 4, para M1 e M2, expressos pela média seguida do desvio padrão (M±DP).

Tabela 4 – Comparação das propriedades no estado endurecido entre as diferentes sequências e misturas.

Mistura	Coeficiente de Capilaridade ($g/dm^2.min^{1/2}$)	Densidade de massa aparente (Kg/m^3)	Resistência (Mpa)	
			Tração	Compressão
1A	0,29±0,09^{a}	1,79±0,02	3,25±0,22^{a}	10,14±0,29^{c}
1B	0,80±0,12^{b}	1,80±0,02	3,4±0,13^{ab}	9,41±0,43^{b}
1C	0,74±0,06^{b}	1,80±0,01	3,21±0,23^{a}	8,68±0,36^{ab}
1D	0,75±0,06^{b}	1,79±0,03	3,73±0,12^{b}	8,19±0,35^{a}
Média	**0,65±0,23**	**1,79±0,02**	**3,40±0,26**	**9,11±0,84**
C.V.(%)	35,63	1,00	7,76	9,25
P*	<0,001	0,750	0,030	<0,001
2A	3,16±0,25^{b}	1,70±0,01^{ab}	1,74±0,07	3,59±0,36^{a}
2B	2,26±0,61^{ab}	1,64±0,03^{ab}	1,66±0,07	4,79±0,31^{b}
2C	4,59±0,33^{c}	1,72±0,06^{b}	1,77±0,06	3,53±0,36^{a}
2D	1,77±0,14^{a}	1,62±0,03^{a}	1,80±0,06	4,54±0,44^{b}
Média	**2,95±1,16**	**1,67±0,05**	**1,74±0,08**	**4,11±0,67**
C.V.(%)	39,52	3,20	4,32	16,25
P*	<0,001	0,019	0,114	<0,001
P**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

P* Teste ANOVA e post hoc de Tukey: comparação entre as diferentes sequências na mesma mistura (a-b, b-c ou a-c: com diferenças estatisticamente significantes; a-a, b-b ou c-c: sem diferenças estatisticamente significantes); P** Teste T: Comparação entre M1 e M2.

Conforme mostra a Tabela 4, a capilaridade foi a propriedade mais influenciada pelo momento de aplicação dos aditivos na mistura, atingindo diferença de até 176% de 1A para 1B e de 160% de 2D para 2C. O teor de ar incorporado é o mesmo para 1A e 1B, no entanto a capilaridade apresentou-se bastante distinta, o que poderia estar vinculado novamente ao tempo de mistura em que os aditivos são expostos quando inseridos no início (A) ou final da mistura (B), podendo afetar também nas características e conectividade dessas bolhas de ar, contribuindo com o fluxo de água por capilares, quando interligadas. Já para M2, confirmou-se a teoria que quanto maior o ar incorporado menor o coeficiente de capilaridade[9], já que as bolhas isoladas interrompem a passagem de água pelos capilares. A sequência de mistura resultou em resistências à compressão distintas estatisticamente (p*<0,05), dentro de cada mistura, observando-se maiores diferenças entre 1A e 1D (-19%) e entre 2C e 2D (26%). Na resistência à tração as diferenças foram consideradas insignificantes em M2 (p*=0,114) e, em M1, foram detectadas diferenças consideráveis estatisticamente (p*=0,030), porém, pequenas numericamente. O uso do AEH, por retardar a formação dos hidratos de cálcio e

ISSN 1984-8757

estabilizar a mistura em seu estado fresco por mais tempo, coloca-a em situação mais suscetível às condições do meio, como temperatura e umidade relativa, podendo afetar as propriedades endurecidas. Além disso, a literatura[9][10] mostra que o momento de aplicação do AEH à mistura faz com que seja inibida, diminuída ou retardada a nucleação desses hidratos de cálcio. A densidade de massa não sofreu alterações para M1, enquanto M2 obteve uma diferença de -6% de 2C para 2D.

Diferenças consideráveis (p**<0,001) foram obtidas ao se aumentar os teores de aditivos, para todas as propriedades ensaiadas no estado endurecido. De M1 para M2, o coeficiente de capilaridade aumentou em mais de seis vezes de 1C para 2C, enquanto a densidade diminuiu em 9,5% de 1D para 2D. As resistências também foram bastante afetadas com o aumento dos aditivos, sendo detectada uma queda de até 52% na resistência à tração de 1D para 2D, e de 65% na compressão de 1A para 2A. Essas alterações podem estar atreladas à aplicação de aditivos em excesso[11][12][13], gerando argamassas mais porosas e permeáveis, com menor resistência. Quanto à incorporação de ar e coeficiente de capilaridade, não houve diferença entre as médias obtidas para o teor de ar incorporado de ambas as misturas, enquanto o coeficiente de capilaridade aumentou, em média, 4,5 vezes de M1 para M2, não sendo encontrada correlação entre essas propriedades.

5. CONCLUSÕES

As propriedades da argamassa no estado fresco sofreram influência pequena da sequência de mistura do aditivo. No estado endurecido, foram obtidas diferenças mais significativas entre os resultados de cada sequência, mais expressivamente para a capilaridade e resistência à compressão. Assim, levando-se em consideração os valores obtidos e a estabilidade em 24h para cada propriedade, a sequência que mostrou-se mais adequada em M1 foi a 1A, já para M2 foi a 2D. Analisando o contexto das duas misturas e as propriedades estudadas, pode-se concluir que a sequência C seria a menos indicada por ser a que mais comprometeu as propriedades, de forma geral.

As misturas com maiores teores de aditivos não diferiram muito das misturas com teores intermediários nas propriedades frescas em 0h, porém conservaram melhor essas propriedades ao longo das 24h de estabilização. Ao mesmo tempo, provocaram perda elevada de resistência e ganho considerável de permeabilidade de água por capilares. Os resultados reforçam a idéia de que as argamassas estabilizadas necessitam estudo e normativa específicos, a fim de reger seu proporcionamento, produção, aplicação e ensaios técnicos.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

2. ____. **ABNT NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

3. ____. ABNT **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

4. ____. ABNT **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

5. ____. **ABNT NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

6. ____. **ABNT NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

7. ____. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

8. ____. **ABNT NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

9. PAOLINI, M. & KHURANA, R. **Admixtures for recycling of waste concrete.** Cement and concrete composites 20, p221-229, 1998.

10. RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete admixtures handbook.** Noyes Publications, NY, 1984.

11. MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M**. Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

12. ARAUJO, M.J.S. **Influência do teor de aditivo aerante nas propriedades das argamassas fluidas à base de cimento.** Dissertação de Mestrado. UFSC, Santa Catarina, 2005.

13. TORRES, D.R.; FUJII, A.L.; ROMANO, R. C. O.; PILEGGI, R.G. **Impacto da rota de incorporação de ar nas propriedades de materiais formulados com cimento Portland.** Revista Ambiente Construído, vol.14, n.2. Porto Alegre, 2014.